



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

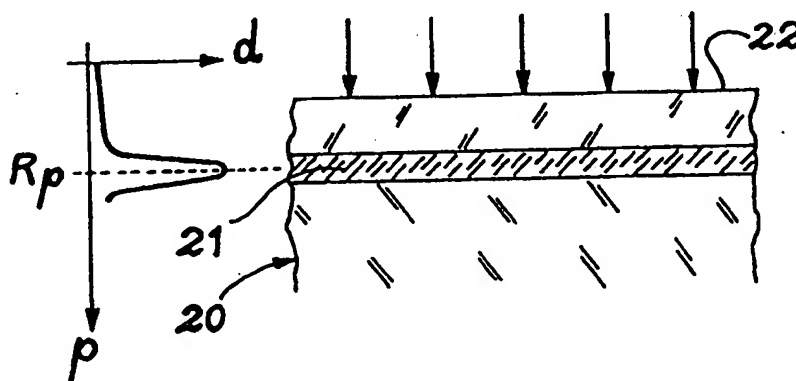
(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>H01L 21/265, 21/762</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 99/35674</b>  (43) Date de publication internationale: 15 juillet 1999 (15.07.99)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02904</p> <p>(22) Date de dépôt international: 29 décembre 1998 (29.12.98)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 97/16696 30 décembre 1997 (30.12.97) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): MORICEAU, Hubert [FR/FR]; 26, rue du Fournet, F-38120 Saint-Egrève (FR). BRUEL, Michel [FR/FR]; Presvert No. 9, F-38113 Veurey (FR). ASPAR, Bernard [FR/FR]; 110 Lotissement Le Hameau des Ayes, F-38140 Rives (FR). MALEVILLE, Christophe [FR/FR]; 159, chemin du Diday, F-38360 Noyarey (FR).</p> <p>(74) Mandataire: BREVATOME; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: JP, KR, SG, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>

(54) Title: METHOD FOR TRANSFERRING A THIN FILM COMPRISING A STEP OF GENERATING INCLUSIONS

(54) Titre: PROCEDE POUR LE TRANSFERT D'UN FILM MINCE COMPORTANT UNE ETAPE DE CREATION D'INCLUSIONS

## (57) Abstract

The invention concerns a method for transferring at least a thin film of solid material delimited in an initial substrate (20) comprising the following steps: a step for forming a layer of inclusions (21) in the initial substrate (20), at a depth corresponding to the thickness required for the thin film, said inclusions being provided to constitute traps for the gas species to be subsequently implanted; a subsequent step for implanting said gas species so as to bring the gas species into the layer of inclusions (21), the dose of implanted gas species implanted being sufficient to bring about the formation of microcavities capable of constituting a fracture plane enabling the thin film to be separated from the rest of the substrate.



formation of microcavities capable of constituting a fracture plane enabling the thin film to be separated from the rest of the substrate.

## (57) Abrégé

L'invention concerne un procédé pour le transfert d'au moins un film mince de matériau solide délimité dans un substrat initial (20). Il comprend les étapes suivantes: une étape de formation d'une couche d'inclusions (21) dans le substrat initial (20), à une profondeur correspondant à l'épaisseur désirée pour le film mince, ces inclusions étant prévues pour constituer des pièges pour les espèces gazeuses qui seront ensuite implantées; une étape postérieure d'implantation desdites espèces gazeuses, de façon à amener les espèces gazeuses dans la couche d'inclusions (21), la dose des espèces gazeuses implantées étant suffisante pour provoquer la formation de microcavités susceptibles

# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce			TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	ML	Mali	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MN	Mongolie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MR	Mauritanie	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MW	Malawi	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	MX	Mexique	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NE	Niger	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NL	Pays-Bas	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NO	Norvège	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	NZ	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun			PL	Pologne		
CN	Chine	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CU	Cuba	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CZ	République tchèque	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		

PROCEDE POUR LE TRANSFERT D'UN FILM MINCE COMPORTANT  
UNE ETAPE DE CREATION D'INCLUSIONS

Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé pour le transfert d'un film mince de matériau solide. Ce procédé permet en particulier le transfert d'un film mince de matériau solide sur un support constitué d'un  
10 matériau solide de même nature ou de nature différente.

Etat de la technique antérieure

Le document FR-A-2 681 472 (correspondant  
15 au brevet US-A-5 374 564) décrit un procédé de fabrication de films minces de matériau semiconducteur. Ce document divulgue que l'implantation d'un gaz rare ou d'hydrogène dans un substrat en matériau semiconducteur est susceptible de créer la formation  
20 d'une couche de microcavités ou de microbulles (encore désignées par le terme "platelets" dans la terminologie anglo-saxonne) à une profondeur voisine de la profondeur moyenne de pénétration ( $R_p$ ) des ions implantés. La notion de microcavités inclut bien  
25 entendu les microfissures. L'épaisseur de la couche de microcavités est déterminée par les conditions d'implantation. Si ce substrat est mis en contact intime, par sa face implantée avec un raidisseur et qu'un traitement thermique est appliqué à une  
30 température suffisante, il se produit une interaction entre les microcavités ou les microbulles conduisant à une séparation du substrat semiconducteur en deux parties : un film mince semiconducteur adhérent au raidisseur d'une part, le reste du substrat  
35 semiconducteur d'autre part. La séparation a lieu à

l'endroit où les microcavités ou microbulles sont présentes. Le traitement thermique est tel que l'interaction entre les microbulles ou microcavités créées par implantation induit une séparation entre le film mince et le reste du substrat. Il y a donc  
5 transfert d'un film mince depuis un substrat initial jusqu'à un raidisseur servant de support à ce film mince.

Ce procédé peut également s'appliquer à la  
10 fabrication d'un film mince de matériau solide autre qu'un matériau semiconducteur (un matériau conducteur ou diélectrique), cristallin ou non.

Si le film mince délimité dans le substrat est suffisamment rigide par lui-même (à cause de son épaisseur ou à cause de ses propriétés mécaniques) on  
15 peut obtenir, après le recuit de transfert, un film autoporté. C'est ce qu'enseigne le document FR-A-2 738 671.

Il a été proposé, par le document  
20 EP-A-0 767 486, une amélioration du procédé divulgué dans le document FR-A-2 681 472 cité plus haut. D'après le document EP-A-0 767 486 (voir la colonne 8), le procédé divulgué par le document FR-A-2 681 472 présente les inconvénients suivants. Le choix de  
25 l'épaisseur du film à transférer est d'un degré de liberté faible. L'épaisseur du film à transférer (correspondant à  $R_p$ ) et les conditions de séparation du film d'avec le substrat initial sont liées. La planéité de la surface du film obtenu après la séparation n'est  
30 pas satisfaisante et il n'est pas possible de conserver l'homogénéité en épaisseur d'un film mince lors du transfert. L'amélioration proposée par le document EP-A-0 767 486 consiste à réaliser l'implantation d'ions à la profondeur  $R_p$  dans une couche de silicium  
35 poreuse formée à la surface d'un substrat en silicium.

Cette implantation ionique provoque une augmentation de la porosité (densité de pores) dans la mesure où apparaissent des microcavités dans les parois des pores de la couche poreuse. Cette couche est alors considérée  
5 comme une structure poreuse fine. Sous certaines conditions d'implantation, la séparation est provoquée dans cette couche poreuse fine, conformément au mécanisme décrit dans le document FR-A-2 681 472. Il existe donc deux effets de zone de par une zone de  
10 pores créés par une étape de génération de silicium poreux, et de par une zone de cavités générées entre les pores dans les petites zones de silicium parfait comme pour le procédé selon le document FR-A-2 681 472. L'amélioration proposée consiste donc à utiliser une  
15 couche poreuse pour obtenir, après séparation, une couche dont l'homogénéité en épaisseur est bien contrôlée.

Le procédé divulgué par le document EP-A-0 767 486 préconise la formation de silicium  
20 poreux (la porosité est d'un pourcentage de l'ordre de plusieurs dizaines), ce qui revient à retirer du silicium ou de la matière au niveau de la zone de séparation et ce qui entraîne une fragilisation du matériau.

25 Une amélioration plus sensible du procédé révélé par le document FR-A-2 681 472 serait de réduire l'épaisseur de la couche de microcavités obtenue par implantation ionique. C'est ce que propose la présente invention.

30

#### Exposé de l'invention

L'amélioration proposée par la présente invention est rendue possible grâce à la création dans  
35 le matériau du substrat initial d'une inclusion ou d'un

ensemble d'inclusions afin de confiner les espèces gazeuses introduites lors de l'étape d'implantation ionique. Une inclusion est un volume de matériau dont les propriétés sont différentes de celles du matériau du substrat à partir duquel on veut transférer un film mince ou des films minces. Les inclusions peuvent se présenter sous la forme d'une couche s'étendant sensiblement parallèlement à la surface au travers de laquelle on réalise l'implantation. Les formes que peuvent prendre ces volumes sont diverses et leurs dimensions peuvent aller de quelques dixièmes de nanomètres à plusieurs centaines de micromètres.

Le rôle des inclusions est d'être des pièges pour les espèces gazeuses implantées. Le rayon d'action de ces pièges dépend de la nature des inclusions réalisées. Il n'y a pas alors de retrait de matière, comme dans le cas du procédé divulgué par le document EP-A-0 767 486.

Le procédé selon la présente invention comprend une étape préliminaire consistant à former des inclusions dans le matériau du substrat initial. Une étape postérieure consiste à implanter des espèces gazeuses, de gaz rare ou non, dans ce matériau. La présence des inclusions formées à l'étape précédente entraîne un confinement des espèces gazeuses implantées. L'efficacité des inclusions est liée à leur pouvoir de confinement des espèces gazeuses.

Les inclusions peuvent être formées au voisinage d'une profondeur parfaitement contrôlable. Leur présence induit alors un confinement des espèces implantées dans une couche perturbée d'épaisseur plus fine que celle que l'on obtient dans le procédé de l'art connu. Il en résulte plusieurs avantages. Les espèces gazeuses implantées sont piégées préférentiellement au niveau et/ou dans la zone

influencée par ces inclusions, dite voisinage de ces inclusions. Cette localisation précise permet d'induire une fracture de séparation (transfert) au niveau et/ou au voisinage des inclusions. Il en résulte une rugosité  
5 relativement faible de la surface au niveau de la fracture. De plus, dû au pouvoir de confinement, un tel procédé permet l'usage de faibles doses implantées nécessaires à la fracture. Enfin, l'effet de confinement par la présence des inclusions permet de  
10 diminuer le budget thermique nécessaire à la fracture, dans la mesure où l'on favorise la nucléation et la croissance des cavités amenant à la fracture. L'intérêt est évident dans le cas de transfert de structures en films pour lesquelles une limitation de montée en  
15 température existe. On peut citer, comme exemple, le collage hétérogène de matériaux ayant des coefficients de dilatation différents de plus de 10%.

L'invention a donc pour objet un procédé pour le transfert d'au moins un film mince de matériau  
20 solide délimité dans un substrat initial, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- une étape de formation d'une couche d'inclusions dans le substrat initial, à une profondeur correspondant à l'épaisseur désirée pour le film mince,  
25 ces inclusions étant prévues pour constituer des pièges pour les espèces gazeuses qui seront ensuite implantées,

- une étape postérieure d'implantation desdites espèces gazeuses, de façon à amener les  
30 espèces gazeuses dans la couche d'inclusions, la dose des espèces gazeuses implantées étant suffisante pour provoquer la formation de microcavités susceptibles de constituer un plan de fracture permettant la séparation du film mince du reste du substrat.

L'étape d'implantation des espèces gazeuses peut être réalisée avec une énergie d'implantation de ces espèces gazeuses telle que leur profondeur moyenne de pénétration dans le substrat correspond à la  
5 profondeur de la couche d'inclusions. Elle peut aussi être réalisée avec une énergie d'implantation de ces espèces gazeuses telle que leur profondeur moyenne de pénétration dans le substrat est au voisinage de la couche d'inclusions, cette implantation étant associée  
10 avec un traitement thermique de diffusion pour permettre la migration des espèces implantées au niveau de la couche d'inclusions.

L'étape d'implantation peut être réalisée à partir d'une ou de plusieurs espèces gazeuses  
15 implantées soit simultanément, soit successivement.

Le substrat initial peut être constitué d'une partie massive supportant une structure en film(s) dans laquelle doit être délimité ledit film de matériau solide. Tout ou partie de cette structure peut  
20 être obtenu par épitaxie. Cette structure peut être telle que, après transfert du film mince, le reste du substrat, porteur ou non d'une épitaxie, est réutilisable pour un autre transfert de film mince.

La couche d'inclusions peut être formée par  
25 une technique de dépôt de film. Elle peut alors consister en une génération de colonnes ou une génération de grains.

Les inclusions peuvent présenter une affinité chimique avec lesdites espèces gazeuses.

30 Les inclusions peuvent provenir d'un désaccord paramétrique du matériau formant la couche d'inclusions avec les régions du substrat qui lui sont adjacentes. Ce désaccord paramétrique peut consister en un écart de dimension des paramètres cristallins, en  
35 écarts d'orientation cristalline dans un plan parallèle



à la surface de la structure transférée, en différence de coefficient de dilatation thermique entre un des films et le matériau initial (et/ou d'autres films).

La couche d'inclusions peut aussi être  
5 formée par une technique de gravure d'une couche du substrat.

Elle peut encore être formée par implantation d'éléments dans une couche du substrat. Ces éléments peuvent être implantés en une ou plusieurs  
10 fois. L'implantation de ces éléments peut être assistée par un traitement thermique apte à augmenter l'efficacité des pièges, ce traitement thermique pouvant être effectué avant, pendant et/ou après l'implantation. Ce traitement thermique est apte à  
15 modifier la morphologie et/ou la composition des inclusions, ce qui favorise le confinement ultérieur des espèces gazeuses. Ce traitement thermique est réalisé à une température et pendant une durée telles qu'il ne permet pas de réaliser une fracture sur  
20 l'ensemble de la couche d'inclusions.

La couche d'inclusions peut encore être obtenue par traitement thermique du ou des films et/ou par application de contraintes au(x) film(s) de la structure en film(s).

25 La couche d'inclusions peut encore être obtenue par une combinaison des différentes techniques citées ci-dessus.

L'implantation des espèces gazeuses peut être réalisée par un bombardement d'espèces choisies  
30 parmi les espèces neutres et les ions. Elle peut encore être réalisée par une méthode choisie parmi la diffusion assistée par plasma, la diffusion thermique et la diffusion assistée par plasma combinée avec la diffusion thermique et/ou assistée par polarisation  
35 électrique. L'implantation peut être effectuée de façon

normale par rapport à la face implantée du substrat, ou avec une certaine incidence. Elle peut être effectuée en utilisant des éléments différents de gaz rares ou non.

5                   Le procédé peut comprendre une étape de traitement thermique apte à fragiliser le substrat au niveau de la couche d'inclusions pour permettre la séparation entre le film mince et le reste du substrat. Ce traitement thermique est mené avec un budget  
10 thermique déterminé et qui est fonction des différents budgets thermiques utilisés au cours du procédé. En particulier, ce traitement thermique tient compte du ou des échauffements induits par des traitements thermiques de type hors équilibres thermodynamiques  
15 tels que ceux pouvant résulter de l'étape de formation des inclusions et/ou de l'étape d'implantation des espèces gazeuses et par des traitements thermiques utilisant un chauffage ou un refroidissement du substrat, tels que par exemple pour l'implantation, ou  
20 un éventuel renforcement de forces de liaison dans le cas du collage avec un support. Ce traitement thermique peut donc être nul si les autres étapes du procédé permettent ladite fragilisation. Il peut être réalisé aussi bien avec une température positive qu'avec une  
25 température négative. Selon l'invention, cette fragilisation est telle qu'elle permet la séparation du film mince d'avec le reste du substrat avec ou sans l'utilisation de contraintes mécaniques. Ce traitement thermique peut être réalisé par chauffage impulsif  
30 afin d'obtenir par exemple une montée rapide en température. Ce chauffage impulsif peut être de type RTA ("Rapid Thermal Annealing") ou de type RTP ("Rapid Thermal Process") par exemple.

35                   Le procédé peut comprendre en outre une étape de mise en contact intime du film mince délimité

dans le substrat avec un support auquel le film mince adhérera après sa séparation d'avec le reste du substrat. La mise en contact intime peut être réalisée directement (par adhésion moléculaire par exemple) ou  
5 par l'intermédiaire d'un matériau rapporté. Une étape de traitement thermique peut être mise en oeuvre pour renforcer l'adhésion entre le film mince délimité dans le substrat et le support rapporté.

Des contraintes mécaniques peuvent être  
10 exercées au cours et/ou après et/ou avant le traitement thermique pour contribuer à la séparation entre le film mince et le reste du substrat.

Le procédé selon l'invention s'applique avantageusement au transfert d'un film mince de  
15 silicium à partir d'un substrat initial. Il peut s'appliquer aussi au transfert d'un film mince de matériau semiconducteur III-V (par exemple de l'AsGa) à partir d'un substrat initial. Le film mince peut être constitué lui-même d'une structure en films minces. Il  
20 peut avoir été au moins partiellement traité avant son transfert pour y constituer, sur tout ou partie du film à transférer, un circuit intégré ou pour y constituer, sur tout ou partie du film à transférer, un composant optoélectronique.

25

#### Brève description des dessins

L'invention sera mieux comprise au moyen de la description qui va suivre, donné à titre d'exemple  
30 non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue transversale d'un substrat formé d'un support initial sur lequel on a fait croître, par une technique de pulvérisation, une

structure en films comportant une couche d'inclusions due à une croissance colonnaire ;

- la figure 2 est une vue transversale d'un substrat formé d'un support initial sur lequel on a fait croître, par une technique de pulvérisation, une structure en films comportant une couche d'inclusions due à une croissance granulaire ;

- les figures 3 et 4 sont des diagrammes représentant l'évolution du paramètre de réseau d'une composition cristalline en fonction de taux d'un élément introduit dans la composition ;

- la figure 5 est une vue transversale d'un substrat sur lequel des inclusions sont générées par gravure ;

- les figures 6A à 6D sont illustratives du procédé selon l'invention dans le cas où un film mince est transféré sur un raidisseur ;

- la figure 7 est une vue transversale d'un substrat permettant l'obtention d'une structure SOI par le procédé selon l'invention.

#### Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

Le substrat à partir duquel sera transféré le film mince peut être un substrat massif (formé d'un matériau unique) ou un substrat composite, c'est-à-dire formé de films de natures chimiques et/ou physiques identiques ou différentes.

Les inclusions peuvent être générées dans le matériau initial en particulier par :

- un changement structural dans le matériau initial (structure cristalline, orientation cristalline, zones localement amorphes, lacunes...),

- un changement de nature physique (densification, inclusion de gaz pendant l'élaboration, implantation d'ions divers, gravure ionique et/ou chimique sélective et/ou électrochimique sur plusieurs  
5 couches...),

- un changement de nature chimique ou de liaisons chimiques (effet de dopage, effet de variation de composition, utilisation d'une interface d'une structure préalablement collée, nucléation et/ou  
10 croissance de précipités...),

- des déformations plus ou moins locales du matériau (effets d'interface, effet de traitements thermiques de couches à coefficients de dilatation différents, effet de contraintes générées entre couches  
15 consécutives...).

Un certain nombre de techniques d'élaboration ou de traitements de matériaux en films permet de réaliser des inclusions, dans une zone relativement parallèle à la surface du matériau.

20 En termes d'applications l'intérêt d'un tel procédé est de permettre par exemple un changement de substrat pour un ou plusieurs films empilés, pour une structure partiellement ou totalement traitée en vue de réaliser un composant de micro-électronique, un  
25 capteur... Ce besoin sera par exemple extrêmement important dans le cas où le film ou la structure transférés seraient à soumettre à des traitements thermiques que le support final ne pourrait supporter (température trop élevée, différence de dilatation  
30 thermique trop importante...).

Les diverses techniques de dépôt de films permettent de réaliser des empilements d'un ou de plusieurs films, dans lesquels on peut faire facilement varier la composition des films, leur état de  
35 contrainte, leur structure, leur morphologie. On entend

par dépôt de films le fait de rapporter et/ou d'élaborer. Ces diverses possibilités permettent de générer des inclusions dans le matériau initial avant l'étape d'implantation d'espèces gazeuses. Les interfaces, le(s) film(s) et leur(s) voisinage(s) concernés sont considérés par la suite comme zone d'inclusions, pièges pour les espèces gazeuses implantées lors de la deuxième étape du procédé.

Les techniques de dépôt sont nombreuses et choisies suivant la nature des matériaux à élaborer. Les matériaux pourront être des matériaux amorphes, polycristallins ou monocristallins. Pour certaines applications, les dépôts devront être réalisés en épitaxie (homogène ou hétérogène). Parmi les techniques de dépôt les plus couramment utilisées, on peut citer : les dépôts par pulvérisation ionique, les dépôts par réaction en phase vapeur, à haute ou basse pression, assistés ou non par plasma, les dépôts par jet moléculaire, les dépôts par épitaxie en phase liquide, les dépôts assistés par ablation laser.

La technique de pulvérisation ionique permet des croissances en colonnes, d'orientations et de tailles variables. Ces tailles et orientations sont contrôlables suivant les conditions de pression, de température et d'énergie de dépôt. Au cours de la croissance colonnaire, certaines des colonnes sont arrêtées dans leur croissance au profit d'autres colonnes qui s'élargissent. A titre d'exemple, dans la réalisation de films de  $\text{Co}(\text{Zr}, \text{Nb})$ , une pression d'argon de l'ordre de 30 mTorr, pendant le dépôt, favorise une croissance colonnaire. Cet effet peut être utilisé pour imposer certaines propriétés magnétiques au dépôt par rapport au plan du support initial. Les zones, situées au niveau et/ou au voisinage de

l'extrémité des colonnes arrêtées dans leur croissance, sont des zones d'inclusions.

La figure 1 illustre un substrat ainsi obtenu. Il est formé d'un support initial 1, composite ou non, sur lequel on a fait croître une structure en film mince 2 par pulvérisation. Une croissance colonnaire a été provoquée à l'intérieur de la structure 2 pour constituer une couche d'inclusions 3 qui servira de zone de pièges pour les espèces gazeuses à implanter. La localisation de la surface de la fracture dans ou autour de la zone de pièges est fonction de l'efficacité des pièges créés.

Cette technique de dépôt permet également des croissances en grains (monocristallins, polycristallins ou en agglomérats amorphes) de dimensions moyennes, très bien contrôlables. A titre d'exemple, si  $T_m$  est la température de fusion du matériau à déposer, une température de dépôt  $T$ , telle que le rapport  $T/T_m$  est supérieur à 0,5, favorise la croissance en grains cristallins. On peut se référer à ce propos à l'article de A.G. DIRKS et H.J. LEAMY paru dans la revue Thin Solid Films, 47, 219, (1977). Les joints entre les grains sont également des zones d'inclusions pour le procédé selon la présente invention.

La figure 2 illustre un substrat ainsi obtenu. Il est formé d'un support initial 5, composite ou non, sur lequel on a fait croître une structure en film mince 6 par pulvérisation. Une croissance granulaire a été provoquée à l'intérieur de la structure 6 pour constituer une couche d'inclusions 7 qui servira de zone de pièges pour les espèces gazeuses à implanter. La localisation de la surface de fracture au niveau de la zone d'inclusions est fonction de l'efficacité des pièges créés.

En général, les techniques de dépôts de films permettent de disposer de films dont les épaisseurs peuvent être parfaitement contrôlées. Il est alors possible de réaliser des structures de faibles épaisseurs, composées de films simples ou multiples. Les dépôts de film(s) sont réalisés sans relation cristalline (avec le support initial et/ou entre les films) ou en épitaxie (homogène ou hétérogène). En outre, dans le terme de dépôts de films, il faut inclure les dépôts de films multicouches à effet tampon et/ou à effet d'adaptation (dits "seed layer" et "buffer layer" en anglais) dans le but de réaliser des structures cristallines. On remarquera que dans le cas d'une épitaxie homogène d'un film sur un support de même nature, l'interface, si elle existe, pourra être le lieu d'inclusions. Les espèces gazeuses implantées par la suite seront localisées au niveau et/ou au voisinage de cette interface...

Ces structures en film(s) sont tout ou partie de zones d'inclusions, étant donné :

- la nature physique et/ou chimique des films (interaction chimique entre les films, variation des orientations cristallines dans le cas de structures multicouches, affinité pour les espèces gazeuses qui seront implantées par la suite...),

- les contraintes présentes dans ces divers films et interfaces générés (du fait de désaccord de mailles cristallines, de différence de coefficients de dilatation thermique, de microrugosité d'interface, d'inclusions d'éléments autres que ceux du matériau à déposer, d'inclusions de phases hétérogènes...).

A titre d'exemple, il est possible de réaliser une structure multicouche dans laquelle au moins un film cristallin est déposé, séparé du support cristallin initial par un ou plusieurs films, dits



couches tampons et/ou d'adaptation. Le film cristallin présente des orientations cristallines identiques ou non à celles du support initial. Le rôle des couches tampons est de provoquer sur tout ou partie de la surface de la plaquette des variations de l'orientation cristalline, en particulier dans le plan par rapport au support initial. Dans ce cas, on génère une zone de contraintes et/ou de dislocations permettant l'adaptation des mailles cristallines. Cette zone est située au voisinage des films cités. Il en est ainsi pour le dépôt de films supraconducteurs YBaCuO, en épitaxie sur des couches tampons de SrTiO<sub>3</sub> et/ou de CeO<sub>2</sub>. Ces couches tampons sont en épitaxie sur un substrat de saphir de plan R(1102). La concordance de mailles impose une rotation de 45° des axes cristallins de type <001> dans le plan, en même temps qu'une forte contrainte au voisinage des interfaces ou dans le volume des films cités. Cette rotation de 45° peut être supprimée dans certaines zones par l'interposition dans ces mêmes zones d'un film très mince de MgO. On peut se référer à ce propos à l'article "Bi-Epitaxial YBCO Grain Boundary Josephson Junctions on SrTiO<sub>3</sub> and Sapphire Substrates" de S. NICOLETTI et al., paru dans la revue Physica C 269 (1996) 255-267.

Comme autre exemple lié aux contraintes dues aux désaccords de mailles cristallines, on peut citer les dépôts par phase vapeur (CVD) de films de Si<sub>(1-x)</sub>Ge<sub>x</sub> sur support de silicium. La contrainte sera contrôlée en fonction de la concentration x de germanium dans la composition du film. La figure 3 montre comment évolue le paramètre de réseau PR en fonction de la concentration x de germanium dans la composition. La pente de la droite 10 vaut + 0,022 nm en fonction du pourcentage atomique de Ge. On peut également citer l'effet de contraintes liées au niveau

de dopage d'un film de silicium (par exemple le dopage par le bore à raison de  $10^{14}$  à  $10^{20}$  atomes/cm<sup>3</sup>) déposé sur une plaque de silicium peu dopée. La figure 4 montre comment évolue le paramètre de réseau PR en fonction de la concentration x d'atomes de bore en pourcentage atomique. La pente de la droite 11 vaut -0,14 nm. On peut inclure ici la notion d'inclusions par nature chimique. Ainsi un film de Ti, déposé sur un support de silicium, puis recouvert par un film encapsulant, garde une forte sensibilité à de l'oxygène (effet "getter" en anglais) qui peut être inclus et peut diffuser à travers le silicium lors d'un traitement thermique consécutif. L'effet induit est la génération d'une zone de contraintes, dite zone d'inclusions.

Pour la génération de contraintes, lors des dépôts des films, on peut citer l'utilisation des paramètres de dépôts tels que la pression de dépôt, la température de dépôt, la puissance de dépôt, la composition de l'atmosphère de dépôt à travers le rapport des pressions partielles des gaz porteurs, des gaz neutres et des gaz réactifs. Il est connu que les contraintes peuvent entraîner, dans les films déposés, un état de forte compression ou de forte tension suivant la pression de dépôt du film. On peut se référer à ce propos à l'article de A. MATERNE et al., intitulé "Changes in Stress and Coercivity after Annealing of Amorphous Co(Zr, Nb) Thin Films Deposited by R.F. Sputtering", E.M.M.A. Conf., Salford, Royaume-Uni, 14-16 septembre 1987. Ainsi, dans le cas de dépôt par pulvérisation cathodique de films de Co(Zr, Nb), une faible pression de l'ordre de quelques mTorr entraînera un état de compression du film alors qu'une forte pression, de l'ordre de quelques dizaines de mTorr, entraînera un état de tension du même

matériau. La cause de cette évolution a été attribuée, suivant analyse chimique, à la densité d'argon et d'oxygène incluse dans le film lors du dépôt. L'importance des contraintes est telle que localement  
5 elles peuvent, à la limite, provoquer des défauts d'adhérence des films.

Dans le terme de dépôt de films, on inclut tout traitement thermique et/ou physico-chimique, réalisé avant ou après dépôt, visant à induire ces  
10 effets dans les films déposés.

Des inclusions peuvent aussi être générées par gravure. La gravure, par voie sèche (ionique, ionique réactive) et/ou par voie chimique "humide" (gravure sélective, gravure anisotrope) et/ou par voie  
15 électrochimique permet la réalisation de cavités de tailles choisies, ouvertes sur une très faible surface. Ces cavités peuvent être ou non remplies par la suite d'un matériau piège pour les espèces gazeuses nécessaires au transfert.

20 Pour générer des inclusions, des techniques de gravure de structures multicouches peuvent être utilisées, assistées plus ou moins par des techniques de masquage partiel sur tout ou partie de la surface de la plaquette (techniques classiques en  
25 micro-électronique). Ainsi, dans un film superficiel très mince de nitrure de silicium, il est possible de graver un réseau d'ouvertures de très petites dimensions (sub-microniques). On utilise une technique d'insolation d'un film de résine, positive ou négative,  
30 à travers un masque. Sur certaines zones, le film de résine peut être alors retiré chimiquement, par un développeur adapté à la résine utilisée. Dans ces zones découvertes, on peut utiliser une technique de gravure par faisceau d'ions accélérés, dite gravure  
35 ionique, pour réaliser des ouvertures dans le film de

nitruure de silicium. Ce film superficiel étant déposé à la surface d'un film de silicium, il est alors possible d'attaquer le silicium à l'aplomb des ouvertures réalisées, par gravure à l'hydroxyde de  
5 tétraméthylammonium. Cette gravure chimique est très sélective dans la mesure où la vitesse d'attaque du silicium est plus de 100 fois supérieure à celle du nitruure. Il est possible alors de réaliser des cavités plus larges que les ouvertures générées dans le film de  
10 nitruure.

La figure 5 montre une telle réalisation. On y reconnaît un substrat 13 constitué d'un support initial 14 recouvert d'un film de silicium 15. Le film 15 est recouvert d'un film très mince de nitruure de  
15 silicium 16 où sont pratiquées des ouvertures 17 de faibles dimensions. A partir des ouvertures 17 on a obtenu des cavités 18 dans le film de silicium 15. En fonction de la dimension des ouvertures 17 réalisées dans le film de nitruure de silicium 16 et de  
20 l'épaisseur de ce film 16, il est possible de déposer dans les cavités 18 un matériau 19 dont la nature chimique est propice au piégeage (par exemple du titane pour son effet piège, dit "getter" en anglais) d'espèces gazeuses (par exemple de l'oxygène)  
25 implantées lors de l'étape postérieure d'implantation.

Par la suite, on peut éventuellement obstruer les ouvertures réalisées par le dépôt d'une couche. Ce dépôt n'est pas forcément nécessaire, comme par exemple, dans le cas du transfert d'une structure  
30 de plots réalisés dans un film de silicium cristallin. De même, dans certaines conditions, des traitements thermiques sous atmosphère contrôlée permettent de faciliter, voir d'obtenir, la fermeture de telles cavités. Ces zones de gravure seront considérées, dans  
35 le procédé selon l'invention, comme des inclusions,

pièges pour les espèces gazeuses implantées par la suite.

Des inclusions peuvent aussi être générées par implantation ionique.

5 L'implantation par bombardement d'espèces neutres ou d'ions dans un matériau peut engendrer une couche riche en inclusions, à une profondeur spécifique de l'élément implanté. Pour les espèces implantées, on prend alors en compte les effets de freinage  
10 électronique et nucléaire par le matériau cible. Dans le procédé selon l'invention, le matériau initial est considéré comme le matériau cible. Le procédé d'implantation peut être fait d'une ou plusieurs implantations. Ces implantations peuvent éventuellement  
15 être assistées pendant ou entre chaque implantation par un traitement thermique. On trouvera les espèces implantées et les défauts associés au voisinage d'une profondeur moyenne de pénétration  $R_p$  (nommée "projected range" en anglais). Les inclusions générées  
20 apparaissent comme un désordre à petite échelle dans l'ordre local du matériau. Leur morphologie et leur taille peuvent être modifiées par un traitement thermique et/ou une implantation unique et/ou multiple du même élément ou non.

25 Comme exemple, on peut citer la réalisation de matériau silicium sur isolant (SOI) par le procédé SIMOX (Séparation par IMplantation d'OXygène). L'implantation à 120 keV d'oxygène est suivie d'un traitement thermique à haute température (par exemple  
30 environ 1300°C) pour modifier la topologie et la morphologie des inclusions générées. L'implantation à faible dose (environ  $4 \cdot 10^{17}$  O<sup>+</sup>/cm<sup>2</sup>) d'oxygène, dans une plaque de silicium, permet de réaliser une couche d'oxyde à une profondeur typique de 250 nm, de faible  
35 épaisseur (typiquement 80 à 100 nm). Cette couche est

défectueuse : elle est plus ou moins continue (présence de canaux de silicium nommés "pipes" en anglais) et elle contient des îlots de silicium (de quelques dizaines de nanomètres comme dimensions typiques), en fonction de la dose implantée. On peut se référer à ce propos à l'article de B. ASPAR et al., intitulé "Ultra Thin Buried Oxide Layers Formed by Low Dose SIMOX Processes", Proc. 6th International Conférence on SOI Technology and Devices, Electroch. Soc., Vol. 94-11 (1994) 62. De même, les interfaces de cette couche d'oxyde avec le film supérieur sont plus ou moins rugueuses en fonction des traitements thermiques imposés. Typiquement, la rugosité d'interface pourra être contrôlée dans une gamme de quelques dixièmes de nanomètres à quelques nanomètres comme cela est mentionné dans l'article intitulé : "Characterization by Atomic Force Microscopy of the SOI Layer Topography in Low-Dose SIMOX Materials" de C. GUILHALMENC et al., paru dans la revue Materials Science and Engineering B 46 (1997) 29-32. Cette couche implantée et ses interfaces seront considérées comme une zone d'inclusions, zones de confinement pour les espèces gazeuses implantées lors de la seconde étape du procédé selon l'invention.

Les traitements thermiques peuvent également être utilisés pour générer des inclusions dans le matériau initial, support ou dans une au moins des couches de la structure en film(s) à transférer.

A titre d'exemple on citera, pour le silicium, les traitements thermiques, dits "high-low-high" en anglais, permettant de faire précipiter, à une certaine profondeur, l'oxygène présent dans le matériau. Cette profondeur est typiquement de quelques micromètres dans le cas du silicium monocristallin obtenu par tirage Czochralski.

Pour cela, un cycle en température sera typiquement constitué d'un palier à haute température, supérieure à 1000°C, suivi d'un palier à basse température, inférieure à 900°C, de nouveau suivi d'un palier à haute température, supérieure à 1000°C. Un ordre de grandeur de la profondeur  $x$  peut être évalué à partir de l'équation de diffusion  $x \propto (Dt)^{1/2}$  dans laquelle  $D$  est le coefficient de diffusion à la température de traitement thermique et  $t$  le temps de la diffusion à cette température. Cette couche générée par des traitements thermiques est considérée comme zone d'inclusions.

Comme autre exemple, les traitements thermiques sont connus pour permettre l'adaptation du niveau de contraintes dans des films déposés par l'une des quelconques méthodes précitées. Ainsi, un traitement thermique au-dessus de 500°C pour un film d'oxyde de silicium, déposé par CVD, permet de réduire la contrainte en compression jusqu'à l'annuler voire la transformer en tension. [Cf. A. SLINTANI et al., J. Appl. Phys. 51(8), p. 4197 (1980)]. Un tel comportement est attribué aux réactions de l'oxyde à la vapeur d'eau. Il peut être interprété comme un effet de dégazage ou comme un effet de densification. De même, une dilatation thermique importante entre un des films et le support initial (ou les autres films) peut provoquer un fort état de contraintes et générer localement des inclusions de contraintes, favorables à piéger des espèces gazeuses. A titre d'exemple, on peut citer le cas de film de silicium (100) élaboré sur saphir, plan R. Les coefficients de dilatation sont respectivement de l'ordre de  $4.10^{-6}/K$  et  $9.10^{-6}/K$ . Etant donné que la contrainte est très localisée dans l'épaisseur des films autour de l'interface, cela se traduit par une déformation locale du matériau. Une

telle zone perturbée est considérée dans le procédé de l'invention comme une zone d'inclusions.

Une autre façon d'induire une contrainte sur une structure plane en film(s) est de déposer sur la face arrière du support initial un film très contraint permettant une déformation morphologique (concavité ou convexité). La structure en films est alors déformée. La zone localement contrainte dans la structure comportant le ou les films à transférer est dans le procédé selon l'invention une zone d'inclusions pour les espèces gazeuses implantées par la suite.

Le procédé selon l'invention comprend une seconde étape après la génération d'inclusions dans le matériau concerné. Cette seconde étape consiste en une implantation d'espèces gazeuses (atomes, ions) à une profondeur située au voisinage de la couche d'inclusions générées à l'étape précédente. Ces espèces gazeuses sont confinées, grâce à la présence des inclusions. Elles participent à la nucléation et/ou à la croissance de microcavités, microbulles (ou "platelets") nécessaires à la fracture de transfert. Cette implantation peut être réalisée à travers la surface plane de la structure à transférer par bombardement et/ou par diffusion assistée par plasma et/ou par traitement thermique et/ou par polarisation électrique.

Dans le cas d'implantation par bombardement (espèces neutres et/ou ions), ces espèces gazeuses sont implantées à la profondeur moyenne de pénétration,  $R_p$ . Cette profondeur est caractéristique de l'énergie d'implantation de l'élément implanté dans une cible donnée. On choisira donc une énergie d'implantation telle que la profondeur  $R_p$  corresponde au niveau de la zone des inclusions ou telle que la profondeur soit au voisinage de la zone d'inclusions, un traitement



thermique de diffusion étant alors utilisé pour permettre la migration des espèces implantées au niveau de la zone des inclusions. Les espèces gazeuses pourront être de gaz rares ou non, telles H, F, He.

5 Elles pourront être implantées simultanément ou successivement.

Les figures 6A à 6D illustrent le procédé selon l'invention dans le cas où le film mince est transféré sur un raidisseur. La figure 6A montre un

10 substrat 20 (par exemple formé d'une structure en film(s) mince(s) sur un support initial) comportant une zone d'inclusions 21 formée par l'une des méthodes décrites ci-dessus. La zone d'inclusions est située à une distance de la surface 22 du substrat correspondant

15 à l'épaisseur du film mince à transférer. La figure 6B illustre l'étape d'implantation ionique. Des espèces gazeuses sont implantées, par exemple par bombardement ou par diffusion, au travers de la surface 22 du substrat. La densité d'espèces gazeuses en fonction

20 de la profondeur  $p$  est telle que leur profondeur moyenne  $R_p$  de pénétration correspond à la zone d'inclusions 21 qui devient une zone piège, dense en espèces gazeuses. La figure 6C illustre une étape d'adhésion de la surface 22 du substrat 20 à un

25 raidisseur 23 par apport d'une couche intermédiaire 24. D'autres techniques d'adhérence entre la surface 22 et le raidisseur 23, sans apport d'une couche intermédiaire, peuvent aussi être utilisées. La figure

6D illustre l'étape de séparation consécutive à un

30 traitement thermique approprié en fonction du budget thermique requis comme expliqué plus haut. Sur cette figure, la fracture de séparation passe dans la zone de pièges. Le substrat initial est donc partagé en un film mince 25 adhérent au raidisseur 23 et en une partie

35 restante 26. La zone de pièges est montrée ici partagée

en deux régions. Cependant, selon les cas, elle peut rester complète en adhérant soit au film mince 25, soit à la partie restante 26 du substrat.

Dans le cas d'implantation par diffusion gazeuse, les espèces peuvent diffuser jusqu'à une profondeur au voisinage de celle des inclusions, en adaptant le temps et la température de diffusion. Les lois de diffusion classiques en  $(Dt)^{1/2}$  sont applicables pour adapter la profondeur de diffusion. Ainsi, un traitement thermique sous atmosphère d'argon et d'hydrogène, dans le rapport 9:1 (dit "forming gas" en anglais), permet la diffusion d'hydrogène dans du silicium, à environ 350°C.

Quel que soit le mode d'implantation, les espèces gazeuses doivent être implantées en une quantité suffisante pour participer à la nucléation et/ou au développement de microcavités, microbulles (ou "platelets") à partir et au voisinage des inclusions décrites précédemment. Les conditions d'implantation (dose, énergie, température de cible, temps d'implantation) dépendent en particulier :

- du matériau initial (cible),
- de la nature et de la localisation des inclusions,
- du budget thermique fourni par l'implantation,
- de la nature des espèces gazeuses implantées,
- du budget thermique fourni postérieurement à un éventuel collage,
- du budget thermique (énergétique) fourni par le traitement thermique, de fragilisation,
- d'éventuelles contraintes mécaniques.

Les doses implantées sont néanmoins inférieures à la dose maximale, dose définie par

l'apparition d'exfoliation dans le matériau lors de l'implantation. On définit l'efficacité des inclusions par leur pouvoir de confinement des espèces gazeuses nécessaires au transfert, en considérant la concentration de ces espèces au voisinage des inclusions.

Dans le cas d'implantation ionique, cet effet est illustré par une diminution de la largeur du profil d'implantation, due à une concentration plus importante des espèces implantées autour du  $R_p$  d'implantation. Comme exemple, on considère une structure à transférer composée d'un film de  $\text{SiO}_2$  de 0,4  $\mu\text{m}$  d'épaisseur généré sur un support de silicium. Une première implantation ionique d'hydrogène de  $3 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$ , à l'énergie de 100 keV, destinée à générer les inclusions, provoquera une concentration d'hydrogène à la profondeur moyenne de 0,9  $\mu\text{m}$ . Un traitement thermique est réalisé, typiquement aux environs de 350°C, pendant 2 heures, et est destiné à modifier la morphologie des inclusions (microcavités). On constate que l'épaisseur de la couche contenant les cavités est plus fine que si l'implantation avait été réalisée avec une dose supérieure comme dans le cas du procédé divulgué par le document FR-A-2 681 472. La zone d'inclusions correspond à cette couche de microcavités en cours de croissance. Une deuxième implantation de  $2 \cdot 10^{16} \text{ H}^+/\text{cm}^2$  sera suffisante pour permettre une fracture, au voisinage de cette zone d'inclusions, lors des traitements thermiques de séparation, par exemple à 500°C pendant 1 heure.

On comprend donc l'avantage d'un confinement et d'une localisation possible des microcavités, microbulles (ou "platelets") sur une épaisseur très fine du fait de l'épaisseur de la zone d'inclusions réalisées et/ou de la structure en films

utilisées. De même, la rugosité de la surface de fracture sera également réduite du fait du confinement des inclusions et donc de la zone de fracture.

D'une façon générale, il est alors possible  
5 de réduire la dose à implanter, nécessaire à la nucléation et/ou au développement de microcavités et/ou de diminuer les forces à exercer et/ou de réduire le budget énergétique du traitement thermique pour induire la fracture.

10 Le procédé de transfert visant à obtenir une structure finale en film(s) sur un support suppose que le matériau initial soit rapporté sur un deuxième support au cours d'une troisième étape. La mise en contact est soit directe, par adhésion moléculaire  
15 (nommée "wafer bonding" en anglais), soit par l'intermédiaire d'une couche d'adhésion. Elle doit permettre au support final d'avoir un rôle de raidisseur. Dans les deux cas de mise en contact, direct et indirect, une étape de fixation par un  
20 traitement thermique à basse température peut être nécessaire. Ce traitement doit être adapté pour ne pas empêcher les mécanismes de croissance des microcavités et de fracture dans le matériau initial. Il sera à  
25 prendre en compte dans le budget thermique nécessaire pour induire la fracture lors d'une quatrième étape du procédé. Si la structure à transférer est suffisamment rigide et/ou épaisse et que cette étape n'est pas  
nécessaire, on obtiendra lors du transfert, une structure dite autoportée.

30 Ainsi, dans l'exemple d'une structure recouverte d'un film de  $\text{SiO}_2$  à transférer sur un support de silicium, une température de l'ordre de  $200^\circ\text{C}$  sera suffisante pour renforcer l'adhésion moléculaire. L'énergie de collage entre le film d'oxyde  
35 et le support de silicium sera supérieure à  $0,3 \text{ J/m}^2$ .

La quatrième étape du procédé de transfert de structures en film(s) nécessite un traitement thermique dont le temps et la température sont définis, en particulier, en fonction de l'efficacité des inclusions créés, de la dose d'espèces gazeuses implantées, des conditions thermiques d'implantation du matériau initial et des conditions thermiques d'adhésion à la plaque support final. Le traitement thermique doit être suffisant pour provoquer une fracture dans le matériau initial. On provoque ainsi une séparation entre une partie du matériau initial non utilisé et la structure en film(s) en contact avec le support final. Cette séparation s'effectue au voisinage de la couche des espèces piégées. Dans les conditions de l'invention, la structure en films (monocouche ou multicouche) peut être transférée avec un budget thermique de fracture réduit en comparaison des budgets thermiques nécessaires dans le procédé selon l'art antérieur. Pour définir le budget thermique de séparation, il faut tenir compte de l'efficacité des inclusions générées et du budget thermique global qui est fourni aux plaques au cours des différentes étapes du procédé, à savoir pendant : la génération des inclusions, l'implantation et l'adhésion du matériau initial sur le support raidisseur.

En outre, une partie de l'énergie nécessaire au transfert des structures peut être apportée par le traitement thermique et/ou à l'aide de contraintes, par exemple : liées à un effet du raidisseur support final, liées à l'application de contraintes de cisaillement, de flexion, de traction, de pression, appliquées seules ou en combinaison. L'effet est de même nature que celui décrit dans le document FR-A-2 748 851. Dans ce cas, la dose minimale d'espèces gazeuses à planter, lors de la seconde

étape du procédé, est celle à partir de laquelle il y a une création et/ou une croissance suffisante de microcavités pour induire la fragilisation suffisante de la plaquette parallèlement à la surface.

5                   La figure 7 illustre une application du procédé selon l'invention à l'obtention d'une structure SOI. Le substrat initial 30 est formé à partir d'une plaquette de silicium 31 sur une face de laquelle on  
10 dépose un film 32 de silicium d'environ 50 nm d'épaisseur, fortement dopé (environ  $10^{19}$  atomes/cm<sup>3</sup>) par du bore, élaboré par épitaxie. Le film 32 est lui-même recouvert d'un film 33 de silicium, d'environ  
15 350 nm d'épaisseur, faiblement dopé (environ  $5 \cdot 10^{15}$  atomes/cm<sup>3</sup>) par du bore et également élaboré par épitaxie. Le film 33 est enfin recouvert d'un film 34 de SiO<sub>2</sub>, d'environ 400 nm d'épaisseur et présentant une surface libre 35. Le film 32 de silicium fortement dopé va jouer le rôle de zone d'inclusions.

20                   Le substrat 30 est ensuite soumis à l'étape d'implantation d'espèces gazeuses au travers de la surface 35. On plante de l'hydrogène selon une dose de  $5 \cdot 10^{16}$  atomes/cm<sup>2</sup>, une énergie de 80 keV et à température ambiante.

25                   La surface 35 est ensuite rendue adhérente à une plaque de silicium, par adhésion moléculaire renforcée par un traitement thermique à 250°C pendant 30 minutes.

30                   L'étape de séparation en deux parties du substrat initial 30 comporte un traitement thermique dont l'efficacité par rapport à la fracture est adaptée par le budget thermique (durée et température des différents apports thermiques). Ce traitement thermique final permet d'induire une fracture dans le substrat initial, au niveau et/ou au voisinage du film 32. Le

traitement thermique final peut typiquement être de 2 heures à 250°C.

On peut ainsi obtenir une structure formée d'un film de silicium faiblement dopé (le film 33 du substrat initial) sur une couche d'oxyde de silicium (le film 34 du substrat initial), celle-ci étant solidaire d'une masse de silicium. Le film 32 de silicium fortement dopé a servi au confinement de la fracture.

Le procédé selon l'invention s'avère particulièrement intéressant dans le cas de transfert de structures dans lesquelles un ou plusieurs films ne doivent pas subir de traitement thermique à une température aussi élevée de celle impliquée dans le procédé divulgué dans le document FR-A-2 681 472. Il est également intéressant à mettre en oeuvre dans le cas où la structure à transférer est constituée de matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents.

Enfin, il est important de noter l'avantage suivant du procédé selon l'invention. La surface de la structure en film(s) transférée est une zone perturbée, obtenue lors de la fracture. L'épaisseur de cette zone perturbée peut être très réduite du fait de l'utilisation d'une couche au niveau et/ou au voisinage des inclusions pour confiner la dose d'espèces gazeuses implantées. On obtient, ainsi, une rugosité de surface de la structure transférée faible puisque directement liée à la répartition des microcavités ou microbulles, dans l'épaisseur du matériau lors du transfert.

## REVENDICATIONS

1. Procédé pour le transfert d'au moins un film mince (25) de matériau solide délimité dans un substrat initial (20), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- une étape de formation d'une couche d'inclusions (21) dans le substrat initial, à une profondeur correspondant à l'épaisseur désirée pour le film mince, ces inclusions étant prévues pour constituer des pièges pour les espèces gazeuses qui seront ensuite implantées,

- une étape postérieure d'implantation desdites espèces gazeuses, de façon à amener les espèces gazeuses dans la couche d'inclusions (21), la dose des espèces gazeuses implantées étant suffisante pour provoquer la formation de microcavités susceptibles de constituer un plan de fracture permettant la séparation du film mince (25) du reste du substrat (20).

2. Procédé pour le transfert d'au moins un film mince selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape d'implantation desdites espèces gazeuses est réalisée avec une énergie d'implantation de ces espèces gazeuses telle que leur profondeur moyenne de pénétration dans le substrat (20) correspond à la profondeur de la couche d'inclusions (21).

3. Procédé pour le transfert d'au moins un film mince selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape d'implantation desdites espèces gazeuses est réalisée avec une énergie d'implantation de ces espèces gazeuses telle que leur profondeur moyenne de pénétration dans le substrat (20) est au voisinage de la couche d'inclusions (21), cette implantation étant associée avec un traitement thermique de diffusion pour



permettre la migration des espèces implantées au niveau de la couche d'inclusions (21).

4. Procédé pour le transfert d'au moins un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le substrat initial est constitué d'une partie massive supportant une structure en film(s) dans laquelle doit être délimité ledit film mince de matériau solide.

5. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 4, caractérisé en ce que tout ou partie de ladite structure est obtenu par épitaxie.

6. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce que ladite structure est telle que, après transfert dudit film mince, le reste du substrat, porteur ou non d'une épitaxie, est réutilisable pour un autre transfert de film mince.

7. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la couche d'inclusions est formée par une technique de dépôt de film.

8. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 7, caractérisé en ce que la couche d'inclusions (3) consiste en une génération de colonnes.

9. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 7, caractérisé en ce que la couche d'inclusions (7) consiste en une génération de joints de grains.

10. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdites inclusions présentent une affinité chimique avec lesdites espèces gazeuses.

11. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdites inclusions proviennent d'un désaccord paramétrique du matériau formant la  
5 couche d'inclusions avec les régions du substrat qui lui sont adjacentes.

12. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la couche d'inclusions est formée  
10 par une technique de gravure d'une couche (15) du substrat (13).

13. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la couche d'inclusions est formée  
15 par implantation d'éléments dans une couche du substrat.

14. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 13, caractérisé en ce que ladite implantation d'éléments est assistée par un  
20 traitement thermique apte à augmenter l'efficacité des pièges.

15. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 13, caractérisé en ce que la morphologie des inclusions est modifiée par un  
25 traitement thermique.

16. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la couche d'inclusions est obtenue par traitement thermique du ou des films de la  
30 structure en film(s).

17. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que la couche d'inclusions est obtenue par application de contraintes au(x) film(s) de  
35 la structure en film(s).

18. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que l'implantation des espèces gazeuses est réalisée par un bombardement d'espèces choisies parmi les espèces neutres et les ions.

19. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que l'implantation des espèces gazeuses est réalisée par une méthode choisie parmi la diffusion assistée par plasma, la diffusion thermique et la diffusion assistée par plasma combinée avec la diffusion thermique et/ou assistée par polarisation électrique.

20. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de traitement thermique apte à fragiliser le substrat au niveau de la couche d'inclusions pour permettre la séparation entre le film mince (25) et le reste du substrat (26).

21. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de mise en contact intime du film mince (25) délimité dans le substrat avec un support (23) auquel le film mince adhérera après sa séparation d'avec le reste (26) du substrat.

22. Procédé pour le transfert d'un film mince selon la revendication 21, caractérisé en ce que ladite mise en contact intime est obtenue par adhésion moléculaire

23. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 20 à 22, caractérisé en ce que l'étape de traitement

thermique apte à fragiliser le substrat est menée par chauffage impulsif.

24. Procédé pour le transfert d'un film mince selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce qu'il comprend la mise en oeuvre de contraintes mécaniques pour contribuer à la séparation entre le film mince et le reste du substrat.

25. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24 au transfert d'un film mince de silicium à partir d'un substrat initial.

26. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24 au transfert d'un film mince de matériau semiconducteur III-V à partir d'un substrat initial.

27. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24 au transfert d'un film mince constitué lui-même d'une structure en films minces.

28. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisée en ce que le film mince a été au moins partiellement traité avant son transfert pour y constituer, sur tout ou partie du film à transférer, un circuit intégré.

29. Application du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisée en ce que le film mince a été au moins partiellement traité avant son transfert pour y constituer, sur tout ou partie du film à transférer, un composant optoélectronique.

1/4

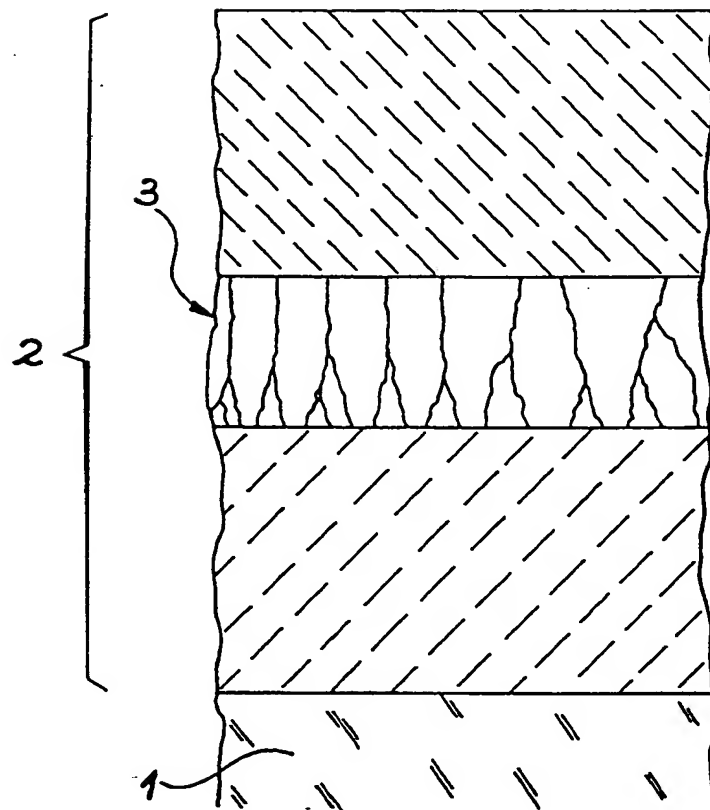


FIG. 1

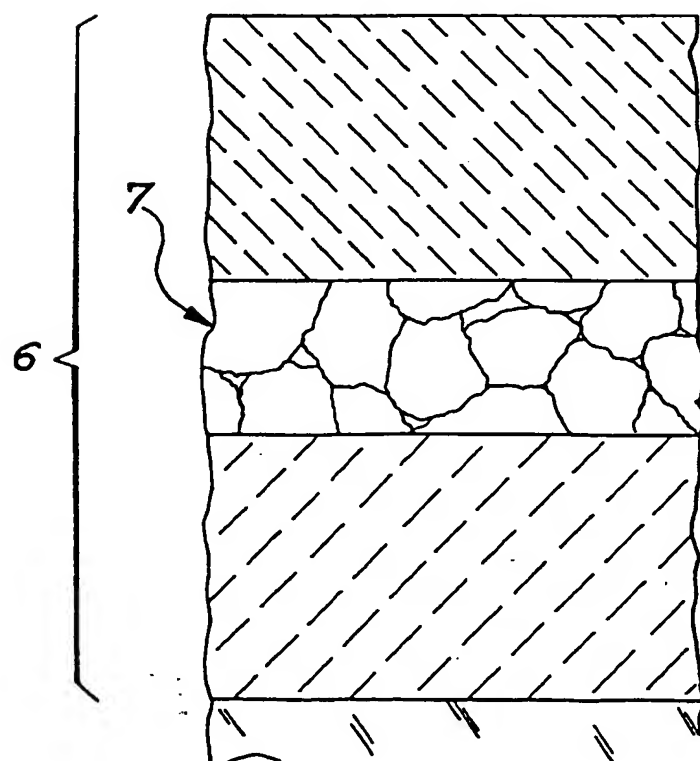


FIG. 2

2 / 4

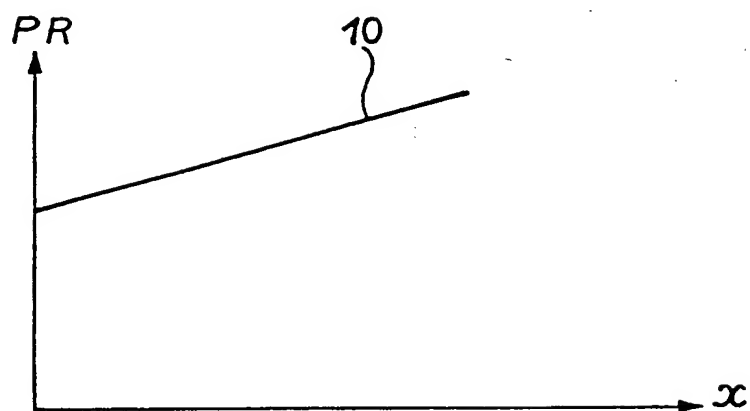


FIG. 3

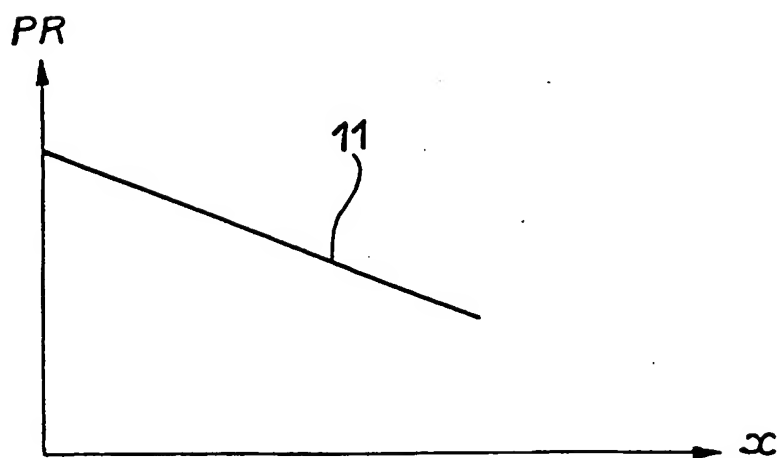


FIG. 4

3 / 4

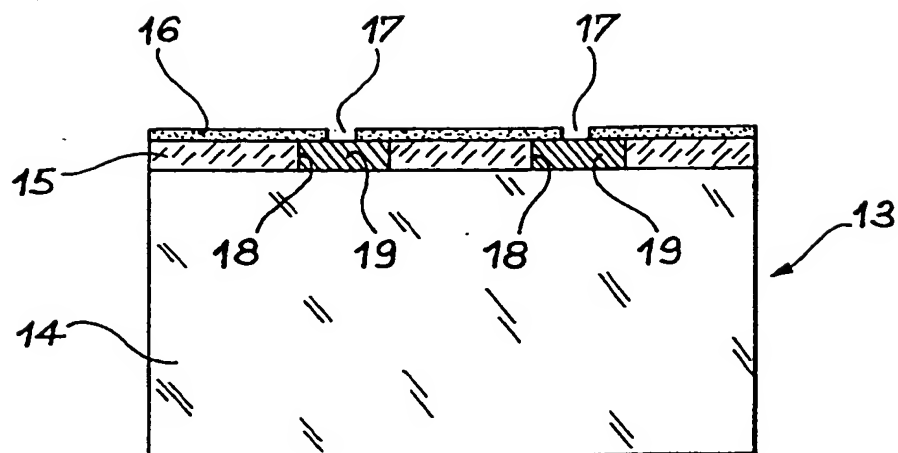


FIG. 5

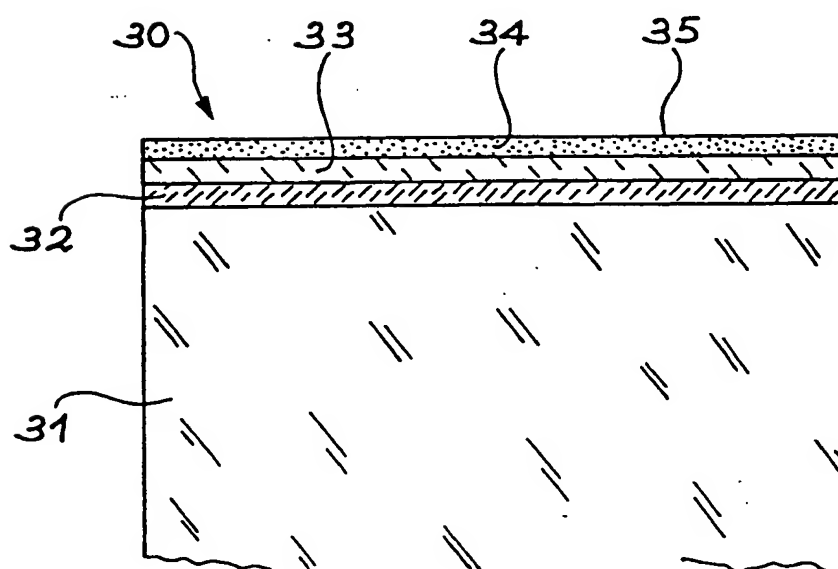


FIG 7

4 / 4

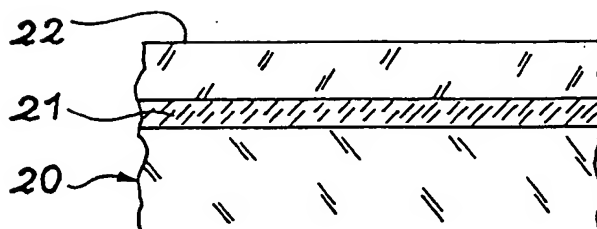


FIG. 6A

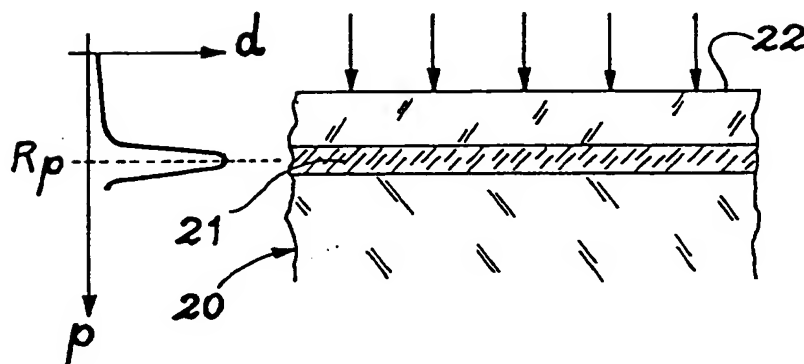


FIG. 6B

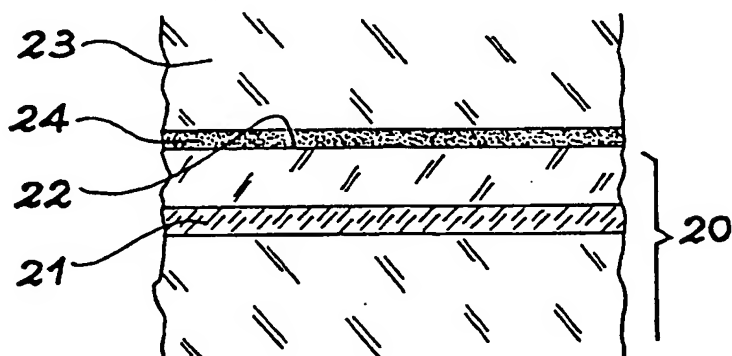


FIG. 6C

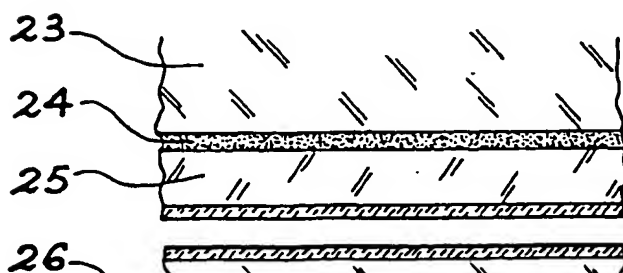


FIG. 6D



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. national Application No

PCT/FR 98/02904

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H01L21/265 H01L21/762

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 533 551 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 24 March 1993 cited in the application	
A	EP 0 717 437 A (ADVANCED MICRO DEVICES INC) 19 June 1996	
A	EP 0 801 419 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 15 October 1997	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 April 1999

Date of mailing of the international search report

16/04/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2

Authorized officer

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 98/02904

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0533551 A	24-03-1993	FR 2681472 A JP 5211128 A US 5374564 A	19-03-1993 20-08-1993 20-12-1994
EP 0717437 A	19-06-1996	JP 8255885 A	01-10-1996
EP 0801419 A	15-10-1997	FR 2747506 A JP 10041242 A SG 52946 A	17-10-1997 13-02-1998 28-09-1998

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De...ande internationale No

PCT/FR 98/02904

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 6 H01L21/265 H01L21/762

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 533 551 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 24 mars 1993 cité dans la demande	
A	EP 0 717 437 A (ADVANCED MICRO DEVICES INC) 19 juin 1996	
A	EP 0 801 419 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 15 octobre 1997	

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

12 avril 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

16/04/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2

Fonctionnaire autorisé

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De...nde Internationale No

PCT/FR 98/02904

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0533551 A	24-03-1993	FR 2681472 A	19-03-1993
		JP 5211128 A	20-08-1993
		US 5374564 A	20-12-1994
EP 0717437 A	19-06-1996	JP 8255885 A	01-10-1996
EP 0801419 A	15-10-1997	FR 2747506 A	17-10-1997
		JP 10041242 A	13-02-1998
		SG 52946 A	28-09-1998